

ОЦІНКА АМПЛІТУДИ РАДІОСИГНАЛУ СПІЛЬНО З УСІЧЕНИМ ОЦІНЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ АДТИВНОЇ АСИМЕТРИЧНОЇ ЗАВАДИ

Гончаров А. В., к.т.н., доцент,

Уманець В. М., аспірант,

Бондаренко А. В.

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006,

E-mail: artyom28@gmail.com, vladimirumanets@gmail.com, rt_bond@ukr.net

Аннотация. В данной работе представлен материал о совместном оценивании амплитуды радиосигнала, дисперсии и коэффициента асимметрии асимметричной помехи с использованием метода максимизации усеченного полинома. Асимметричная помеха характеризуется кумулянтным коэффициентом третьего порядка. Исследованы статистические свойства полученных оценок.

Ключевые слова: асимметричная помеха, стохастический полином, метод максимизации усеченного полинома, коэффициент асимметрии, асимптотическая дисперсия оценки.

ESTIMATION OF RADIO SIGNAL AMPLITUDE TOGETHER WITH TRUNCATED ESTIMATION OF ADDITIVE SKEWNESS INTERFERENCE PARAMETERS

Honcharov A. V., PH.D., associate professor,

Umanets V. M., postgraduate,

Bondarenko A. V.

Cherkasy state technological university,

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006

E-mail: artyom28@gmail.com, vladimirumanets@gmail.com, rt_bond@ukr.net

Abstract. In the article the material concerning combined estimation of radio signal amplitude, dispersion and coefficient of skewness of skewness interference with the use of the method of truncated polynomial maximization is shown. Skewness interference is characterized by cumulant coefficient of the third order. Statistical properties of the obtained estimates are investigated.

Keywords: skewness interference, stochastic polynomial, method of truncated polynomial maximization, coefficient of skewness, asymptotic estimation dispersion.

Вступ. Задача оцінки параметрів інформаційних сигналів, що спостерігаються на тлі завад, є важливим завданням сучасної радіотехніки і теорії обробки інформації. Найбільш відомі класичні методи (метод максимальної правдоподібності, метод моментів, метод найменших квадратів) дозволяють отримати прості і досить ефективні алгоритми оцінки параметрів сигналів з використанням гаусівських моделей випадкових сигналів. Однак такі моделі не відображають всі властивості реальних завад, внаслідок чого точність алгоритмів обробки сигналів може бути недостатньою. Тому актуальною є задача розробки нових алгоритмів обробки сигналів з використанням негаусівських моделей сигналів та завад.

Ефективність теорії стохастичних поліномів Кунченка [1, 2] підтверджується в роботах, присвячених проблемам по знаходженню оцінок параметрів постійного сигналу [3], лінійного тренду [4], а також сумісного виявлення та оцінювання прямокутного відеоімпульса на тлі негаусівських завад [5].

Метою роботи є адаптація методів максимізації полінома та максимізації усіченого стохастичного полінома для задачі знаходження спільної оцінки амплітуди a_0 радіосигналу при усіченому оцінюванні дисперсії χ_2 та коефіцієнта асиметрії γ_3 асиметричної завади.

Одержані результати буде доцільно використовувати при проектуванні технічних

пристроїв, призначених для вимірювання амплітуди радіосигналу в таких галузях, як геологія, гідроакустика, медицина, сейсмологія, радіоастрономія, радіолокація, радіонавігація.

Постановка задачі. Досліджується вибірка обсягом n незалежних неоднаково розподілених вибіркових значень $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ з генеральної сукупності значень випадкової величини $\xi = S(a_0, \omega_0, \varphi_0) + \eta(\chi_2, \gamma_3)$, що являє собою адитивну суміш радіосигналу та асиметричної завади першого типу першого виду. Сигнал $S_v = a_0 e_v \cos(\omega_0 v \delta + \varphi_0)$ описується амплітудою a_0 , огинаючою $e_v = \sin(\omega v \delta)$, ВЧ-заповненням $\cos(\omega_0 v \delta + \varphi_0)$ з початковою частотою ω_0 та фазою φ_0 , де $v = \overline{1, n}$ – відліки (моменти часу спостереження), n – обсяг вибірки, а δ – рівномірний крок дискретизації. Зазначена завада описується за допомогою послідовності кумулянтів та кумулянтних коефіцієнтів, при цьому дисперсія χ_2 , коефіцієнт асиметрії γ_3 відмінні від нуля, а математичне сподівання, коефіцієнт ексцесу γ_4 та кумулянтні коефіцієнти вищих порядків дорівнюють нулю. Параметри сигналу $\omega_0, \omega, \varphi_0$ вважаються апіорно відомими.

Необхідно синтезувати алгоритми знаходження спільної оцінки амплітуди a_0 радіосигналу при усіченому оцінюванні дисперсії χ_2 та коефіцієнта асиметрії γ_3 асиметричної завади до шостого степеня полінома.

Для стислості запису залежність від оцінюваних параметрів a_0, χ_2 та γ_3 представлється у вигляді вектора $\mathbf{\vartheta} = (a_0, \chi_2, \gamma_3)$.

Отримані результати. Спільна оцінка амплітуди радіосигналу при усіченому оцінюванні параметрів асиметричної завади знаходиться, починаючи з рівняння максимізації полінома степеня 3. Така особливість обумовлена тим, що коефіцієнт асиметрії як параметр входить в початкові моменти, починаючи з моменту третього порядку.

Розглянемо оцінювання параметрів a_0, χ_2 та γ_3 при степені стохастичного полінома $s = 3$.

Відповідно до методів максимізації полінома та максимізації усіченого стохастичного полінома [6] система рівнянь для знаходження оцінки амплітуди a_0 радіосигналу та

усічених оцінок кумулянта другого порядку χ_2 і коефіцієнта асиметрії γ_3 буде мати такий вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^3 \sum_{v=1}^n h_{i(s)1v}(\mathbf{J}) [x_v^i - m_{iv}(\mathbf{J})] \Big|_{\substack{a_0=\hat{a}_0 \\ c_2=\hat{c}_2 \\ g_3=\hat{g}_3}} = 0, \\ \sum_{i=1}^2 \sum_{v=1}^n h_{i(s)2v}(\mathbf{J}) [x_v^i - m_{iv}(\mathbf{J})] \Big|_{\substack{c_2=\hat{c}_2 \\ a_0=\hat{a}_0 \\ g_3=\hat{g}_3}} = 0, \\ \sum_{i=1}^3 \sum_{v=1}^n h_{i(s)3v}(\mathbf{J}) [x_v^i - m_{iv}(\mathbf{J})] \Big|_{\substack{g_3=\hat{g}_3 \\ c_2=\hat{c}_2 \\ a_0=\hat{a}_0}} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $m_{iv}(\mathbf{\vartheta})$ – початкові моменти, x_v – незалежні неоднаково розподілені вибіркові значення випадкової величини ξ , $v = \overline{1, n}$ – порядковий номер вибіркового значення, n – обсяг вибірки; $h_{i(s)lv}(\mathbf{\vartheta})$ – оптимальні коефіцієнти, що забезпечують мінімальну дисперсію оцінки амплітуди корисного сигналу, знайденої методом максимізації полінома, коефіцієнти $h_{i(s)2lv}(\mathbf{\vartheta})$ та $h_{i(s)3lv}(\mathbf{\vartheta})$ забезпечують мінімум дисперсій оцінок χ_2 та γ_3 , знайдених методом максимізації усіченого стохастичного полінома.

Оптимальні коефіцієнти $h_{i(s)lv}(\mathbf{\vartheta})$ обчислюються в загальному вигляді з системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

$$\sum_{j=1}^s h_{j(s)lv}(\mathbf{\vartheta}) K_{(i,j)v}(\mathbf{\vartheta}) = \frac{\partial}{\partial a_0} m_{iv}(\mathbf{\vartheta}), \quad \text{де } i = \overline{1, s}. \quad (2)$$

Коефіцієнти $h_{i(s)2lv}(\mathbf{\vartheta})$ та $h_{i(s)3lv}(\mathbf{\vartheta})$ знаходяться з систем усічених алгебраїчних рівнянь (СУАР) (3) та (4) відповідно:

$$\sum_{j=1}^s h_{j(s)2lv}(\mathbf{\vartheta}) K_{(i,j)v}(\mathbf{\vartheta}) = \frac{\partial}{\partial \chi_2} m_{iv}(\mathbf{\vartheta}), \quad i = \overline{1, s}; \quad i, j \neq (c, e, \dots, 1), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^s h_{j(s)3lv}(\mathbf{\vartheta}) K_{(i,j)v}(\mathbf{\vartheta}) = \frac{\partial}{\partial \gamma_3} m_{iv}(\mathbf{\vartheta}), \quad i = \overline{1, s}; \quad i, j \neq (c, e, \dots, 1). \quad (4)$$

Моменти досліджуваної $m_{iv}(\mathbf{\vartheta})$ випадкової величини в загальному випадку знаходяться з виразу

$$m_{iv}(\mathbf{\vartheta}) = E(S_v + \eta)^i, \quad \text{де } i = \overline{1, s}. \quad (5)$$

Центровані корелянти $K_{(i,j)v}(\vartheta)$ для адитивної суміші корисного сигналу та завади обчислюються в загальному вигляді з рівняння

$$K_{(i,j)v}(\vartheta) = m_{(i+j)v}(\vartheta) - m_{iv}(\vartheta)m_{jv}(\vartheta), \quad (6)$$

Блок-схема процедури оцінювання амплітуди радіосигналу при усіченому оцінюванні параметрів асиметричної завади зображена на рис. 1.

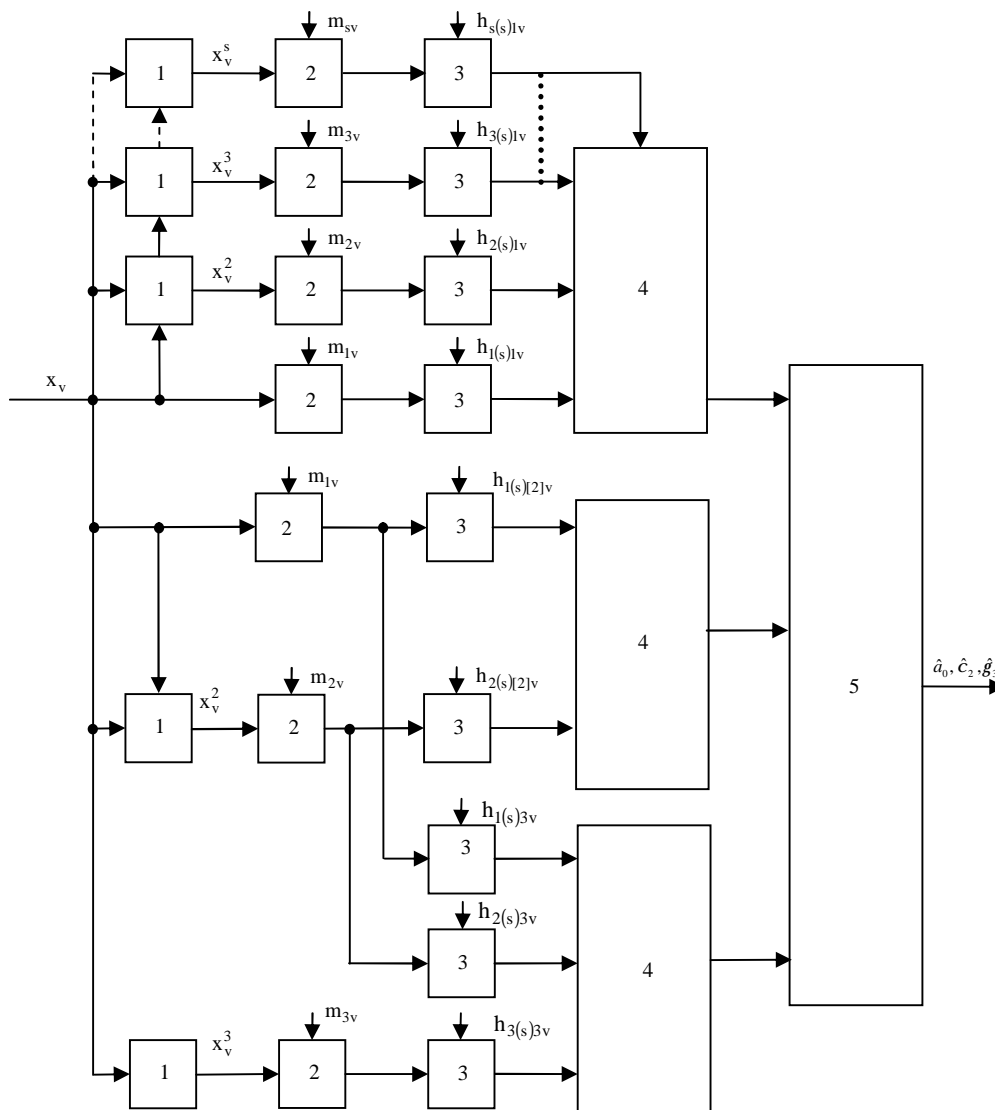


Рис. 1. Блок-схема процедури оцінювання амплітуди радіосигналу при усіченому оцінюванні параметрів асиметричної завади

Розглянемо принцип дії блок-схеми на прикладі оцінки амплітуди корисного сигналу. Незалежні неоднаково розподілені вибіркові значення x_v надходять на вхід блока 2, де за допомогою пристрою віднімання відбувається віднімання початкового моменту $m_{1v}(\vartheta)$ від вибіркового значення x_v . В блоці 3 відбувається множення $(m_{1v}(\vartheta) - x_v)$ на оптимальний коефіцієнт $h_{1(s)lv}(\vartheta)$. Інші ланки працюють аналогічним чином, але з кожною

наступною ланкою відбувається домноження на вибіркове значення x_v в блоці 1. За допомогою суматора 4 відбувається додавання всіх ланок. Ланки блок-схеми для знаходження оцінок параметрів асиметричної завади працюють за аналогічною схемою. Оброблені значення у вигляді рівняння максимізації полінома та двох рівнянь максимізації усіченого стохастичного полінома надходять на вхід блока 5, в якому за допомогою розв'язувального пристрою знаходяться оцін-

ки відповідних параметрів, тобто амплітуди радіосигналу a_0 та параметрів асиметричної завади – кумулянта другого порядку χ_2 та коефіцієнта асиметрії γ_3 .

$$\begin{cases} 6a_0^3 z_{3(3)l} - 3a_0^2 z_{2(3)l} + 3a_0 z_{1(3)l} - z_{0(3)l} \Big|_{\substack{a_0 = \hat{a}_0 \\ c_2 = \hat{c}_2 \\ g_3 = \hat{g}_3}} = 0, \\ n c_2 + g_3 c_2^{0,5} \sum_{v=1}^n (x_v - S_v) - \sum_{v=1}^n (x_v - S_v)^2 \Big|_{\substack{c_2 = \hat{c}_2 \\ a_0 = \hat{a}_0 \\ g_3 = \hat{g}_3}} = 0, \\ g_3^3 z_{3(3)3} - g_3^2 z_{2(3)3} - 2g_3 z_{1(3)3} + 2z_{0(3)3} \Big|_{\substack{g_3 = \hat{g}_3 \\ a_0 = \hat{a}_0 \\ c_2 = \hat{c}_2}} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

де коефіцієнти $z_{i(3)lv}$ та $z_{i(3)3v}$ дорівнюють:

$$\begin{aligned} z_{0(3)l} &= \sum_{v=1}^n [6p_{(3,1)v} \gamma_3^2 \chi_2^4 - 3p_{(2,1)v} \gamma_3 \chi_2^{4,5} (2 + 3\gamma_3^2) + \\ &+ 3p_{(1,1)v} \chi_2^5 (4 - 12\gamma_3^2) + p_{(0,1)v} \gamma_3 \chi_2^{5,5} (6 + 3\gamma_3^2)], \\ z_{1(3)l} &= \sum_{v=1}^n [6p_{(2,2)v} \gamma_3^2 \chi_2^4 - 2p_{(1,2)v} \gamma_3 \chi_2^{4,5} (2 + 3\gamma_3^2) + \\ &+ p_{(0,2)v} \chi_2^5 (4 - 12\gamma_3^2)], \\ z_{2(3)l} &= \sum_{v=1}^n [6p_{(1,3)v} \gamma_3^2 \chi_2^4 - p_{(0,3)v} \gamma_3 \chi_2^{4,5} (2 + 3\gamma_3^2)], \\ z_{3(3)l} &= \sum_{v=1}^n [p_{(0,4)v} \gamma_3^2 \chi_2^4], \quad (8) \\ z_{0(3)3} &= \sum_{v=1}^n [(x_v - S_v)^3 - 3\chi_2 (x_v - S_v)], \\ z_{1(3)3} &= \chi_2^{0,5} \sum_{v=1}^n [3(x_v - S_v)^2 - 2\chi_2], \\ z_{2(3)3} &= \sum_{v=1}^n [(x_v - S_v)^3 - 9\chi_2 (x_v - S_v)], \\ z_{3(3)3} &= \chi_2^{1,5}. \end{aligned}$$

У виразах (8) для спрощення загального вигляду введено заміну:

$$x_v^i e_v^j \cos^j [\omega_0 v \delta + \varphi_0] = p_{(i,j)v}.$$

Синтез алгоритму оцінювання для степенів полінома $s = 4, 6$ виконується аналогічно.

Для дослідження статистичних властивостей знайдених оцінок параметра a_0 при різних степенях полінома s необхідно розра-

хувати асимптотичні дисперсії оцінок, які, в свою чергу, знаходяться з матриці кількості добутої інформації:

$$J_{sn}(\mathbf{\vartheta}) = \begin{pmatrix} J_{sn}^{(1,1)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(1,2)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(1,3)}(\mathbf{\vartheta}) \\ J_{sn}^{(2,1)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(2,2)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(2,3)}(\mathbf{\vartheta}) \\ J_{sn}^{(3,1)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(3,2)}(\mathbf{\vartheta}) & J_{sn}^{(3,3)}(\mathbf{\vartheta}) \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Елементи матриці відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} J_{sn}^{(1,1)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)l}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial a_0}, \\ J_{sn}^{(2,2)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)[2]}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \chi_2}, \\ J_{sn}^{(3,3)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)3}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \gamma_3}, \\ J_{sn}^{(1,2)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)l}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \chi_2}, \quad (10) \\ J_{sn}^{(2,1)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)[2]}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial a_0}, \\ J_{sn}^{(1,3)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)[1]}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \gamma_3}, \\ J_{sn}^{(3,1)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)3}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial a_0}, \\ J_{sn}^{(2,3)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)[2]}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \gamma_3}, \\ J_{sn}^{(3,2)}(\mathbf{\vartheta}) &= \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(s)3}(\mathbf{\vartheta}) \frac{\partial m_{iv}(\mathbf{\vartheta})}{\partial \chi_2}. \end{aligned}$$

Дисперсія оцінки параметра a_0 буде дорівнювати відповідному діагональному елементу варіаційної матриці оцінок, котра асимптотично дорівнює оберненій матриці кількості добутої інформації.

Ефективність запропонованих методів досліджується за допомогою коефіцієнтів зменшення дисперсій отриманих оцінок, які знаходяться з виразу

$$g_{(a_0)sk} = \frac{\sigma_{(a_0)s}^2}{\sigma_{(a_0)k}^2}, \quad (11)$$

де $\sigma_{(a_0)s}^2$ та $\sigma_{(a_0)k}^2$ – дисперсії оцінок амплітуди корисного сигналу при усіченій оцінці параметрів завади, розраховані при різних степенях стохастичного полінома.

Відповідно до виразу (11) проведемо розрахунок коефіцієнтів зменшення дисперсії, порівнюючи дисперсії, знайдені при різних степенях стохастичного полінома s :

$$g_{(a_0)43} = \frac{\sigma_{(a_0)4}^2}{\sigma_{(a_0)3}^2} = 1 - \frac{6\gamma_3^2 (3\gamma_3^2 (10 - 3\gamma_3^2))^2}{576 - 18\gamma_3^2 (208 - 240\gamma_3^2 - 120\gamma_3^4 - 90\gamma_3^6 - 27\gamma_3^8)},$$

$$g_{(a_0)53} = 1 - \frac{324\gamma_3^6 (200 + 840\gamma_3^2 - 792\gamma_3^4 + 675\gamma_3^6)}{6912 - 108\gamma_3^2 (736 - 1840\gamma_3^2 + 2400\gamma_3^4 - 900\gamma_3^6 - 4374\gamma_3^8 - 1215\gamma_3^{10})},$$

$$g_{(a_0)63} = 1 - \frac{W_{63}}{V_{63}}, \quad (12)$$

де

$$W_{63} = 5832\gamma_3^6 (800 - 2640\gamma_3^2 + 62472\gamma_3^4 - 67500\gamma_3^6 + 77670\gamma_3^8 - 6075\gamma_3^{10}),$$

$$V_{63} = 1944 (256 - 4864\gamma_3^2 + 24640\gamma_3^4 - 61440\gamma_3^6 - 9600\gamma_3^8 + 20256\gamma_3^{10} + 372060\gamma_3^{12} - 38340\gamma_3^{14} - 50625\gamma_3^{16}).$$

На рис. 2 зображено графік залежності коефіцієнтів зменшення дисперсій оцінок

$g_{(a_0)s3}$ (12) від коефіцієнта γ_3 , отриманих при різних степенях полінома s .

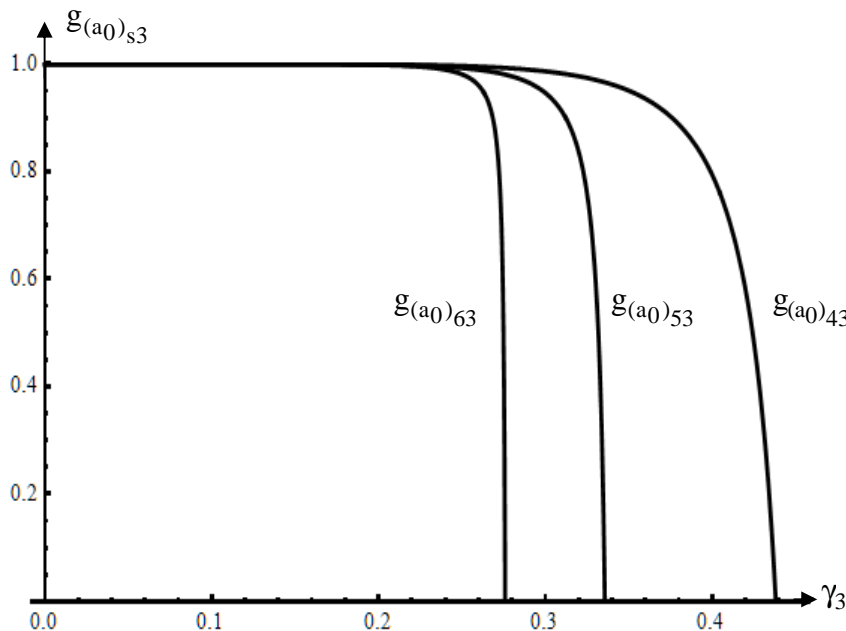


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів зменшення дисперсій оцінок від γ_3

В подальшому для підтвердження ефективності запропонованих методів планується

провести комп'ютерне моделювання алгоритмів знаходження спільних оцінок амплітуди

радіосигналу a_0 та дисперсії χ_2 і коефіцієнта асиметрії γ_3 асиметричної завади першого типу першого виду.

Висновки. Встановлено, що використання методу максимізації усіченого стохастичного полінома для оцінювання дисперсії та коефіцієнта асиметрії завади дозволяє синтезувати простіші алгоритми знаходження оцінок параметрів порівняно з методом максимізації полінома. При збільшенні степеня стохастичного полінома синтезуються алгоритми, які потребують менших ресурсів для їх розрахунків. Ефективність поліноміальних алгоритмів знаходження спільної оцінки амплітуди радіосигналу при усіченому оцінюванні параметрів асиметричної завади визначається дисперсією отриманих оцінок і залежить від двох факторів: степеня стохастичного полінома s та значення коефіцієнта асиметрії γ_3 . Зі зростанням степеня стохастичного полінома та у міру наближення коефіцієнта асиметрії до границі області допустимих значень ефективність запропонованих методів збільшується, оскільки значення дисперсій отриманих оцінок зменшуються. Загальний характер зміни графіків коефіцієнтів зменшення дисперсій оцінок параметра сигналу зберігається і при інших відношеннях степенів полінома.

Список літератури

1. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы / Ю. П. Кунченко. – К. : Наук. думка, 2006. – 275 с.
2. Кунченко Ю. П. Метод максимизации усеченного стохастического полинома / Ю. П. Кунченко // Системы и средства передачи и обработки информации (ССПОИ 2004): труды 8-й междунар. науч.-практ. конф., 2004 г. : тезисы докл. – Одесса : ОНАС им. А. С. Попова, 2004. – С. 153–155.
3. Гончаров А. В. Оцінка параметра постійного сигналу при близьких до гауссівських адитивних завадах : дис. ... кандидата тех. наук : 01.05.02 / Гончаров Артем Володимирович. – Черкаси, 2005. – 149 с.
4. Селін В. О. Моделі та методи нелінійного оцінювання параметрів поліноміальних трендів при негауссовій стохастичній компоненті : дис. ... кандидата тех. наук : 01.05.02 / Селін Віктор Олександрович. – Черкаси, 2013. – 158 с.

5. Лега Ю. Г. Імітаційне моделювання сумісного виявлення та оцінювання прямокутного відеоімпульса на тлі негауссівських завад / [Ю. Г. Лега, В. В. Палагін, В. В. Філіпов та ін.] // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК – 2012) : праці п'ятої міжнар. наук.-практ. конф., 20 квіт. 2012 р. : тези доп. – К. : НАУ, 2012. – С. 340–342.
6. Гончаров А. В. Оцінка амплітуди радіосигналу при асиметрично-ексцесній адитивній заваді із застосуванням усічених поліномів Кунченка / А. В. Гончаров, В. М. Уманець // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – № 2. – С. 111–118.

References

1. Kunchenko, Yu. P. (2006) Stochastic polynomials. Kyiv, Nauk. dumka, 275 p. [in Russian].
2. Kunchenko, Yu. P. (2004) The method of truncated polynomial maximization, in: *8th International Sci.-Prac. Conf. on Systems and Means of Information Transfer and Processing, (SSPOI-2004)*, Odessa, pp. 153-155 [in Russian].
3. Honcharov, A. V. (2005) Estimation of constant signal parameter at additive close to Gaussian interferences: dis. ... of the candidate of technical sciences: 01.05.02. Cherkasy, 149 p. [in Ukrainian].
4. Selin, V. O. (2013) Models and methods of nonlinear estimation of polynomial trends parameters at non-Gaussian stochastic component: dis. ... of the candidate of technical sciences: 01.05.02. Cherkasy, 158 p. [in Ukrainian].
5. Leha, Yu. G, Palahin, V. V., Filipov, V. V. et al. (2012) Simulation of joint detection and estimation of a rectangular video pulse at non-gaussian interferences, in: *5th International Sci.-Prac. Conf. on Integrated Intellectual Robotic Complexes (IIRC-2012)*. Kyiv, NAU, pp. 340-342 [in Ukrainian].
6. Honcharov, A. V., Umanets, V. M. (2013) Estimation of radio signal amplitude at additive skewness-kurtosis interference using Kunchenko's truncated polynomials. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, (2), pp. 111-118 [in Ukrainian].